

УДК 681.625.9

*І.В.Мастенко, студент гр. ПБ-51, Н.В.Стельмах, к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ПОЛІПШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРУКОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

Анотація. У даній статті розглянуто поліпшення механічних властивостей друкованих деталей за рахунок використання середовища інертного газу під час друку. Типовий FDM принтер був поміщений у вакуумну камеру, заповнену азотом, в якості матеріалів для друку застосовувався акрилонітрил бутадієн стирол і поліамід, що витримують високі механічні навантаження. Під час спостереження за процесом друку було зроблено висновок, що через запобігання процесам окислення спостерігалось значне збільшення натягу при розриві і міцності на розтягнення. Це можна пояснити зменшенням руйнування верхніх шарів поверхні полімеру при порівняно високій температурі друку.

Ключові слова: метод пошарового наплавлення (FDM), випробування на розтягування, інертний газ, акрилонітрил бутадієн стирол (ABS), поліамід.

ВСТУП

Застосування методу пошарового наплавлення (FDM) під час 3D-друку є найбільш поширеною та швидкою технологією прототипування завдяки простоті використання та широкому спектру доступних матеріалів. На сьогоднішній день друковані компоненти отримані технологією FDM використовуються в різноманітних сферах, починаючи від повсякденного життя до більш технічних рішень. Власне кажучи, механічна міцність є одним з основних параметрів, оптимізованих за вибором матеріалу та параметрами 3D-друку, такими як висота шару, температура подачі екструдера та швидкість друку.

У деяких випадках 3D-друковані компоненти піддаються впливу високих механічних навантажень, наприклад, у безпілотних літальних апаратах[1]. Отже, перевага полягає у використанні полімерів з стійкістю до високих механічним навантажень, таких як acrylonitrile butadiene styrene (ABS) і для виробництва механічно стійких деталей, застосовують нейлонові нитки, виготовленні зі спеціальних полімерів [2]. Під час процесу друку полімерна нитка розплавляється при високій температурі (200-280 ° C) і шар за шаром, наноситься на робочу поверхню. Висота шару зазвичай знаходиться в діапазоні декількох сотень мікрометрів, що призводить до великої площі контакту, підданий впливу повітря під час процесу друку. Отже, під час процесу FDM-друку полімерна поверхня кожного шару схильна до окислення, що може впливати на механічні властивості.

Детально досліджено погіршення фізико-хімічних характеристик полімерів при більш високих температурах. У випадку ABS, процеси окислення призводять до руйнування матеріалу при більш високих температурах у присутності кисню. В основному на полібутадієну фазу (яка містить реактивний подвійний зв'язок) впливають реакції окислення, які призводять до значного зниження механічних властивостей[3]. Для “Selective Laser Sintering” (SLS), де лазерний промінь використовується для плавлення частинок сирого вихідного матеріалу з метою формування бажаного об'єкта, детально досліджено складні процеси розкладання друкарського матеріалу, такого як нейлон [4]. У присутності азоту процеси окислення можуть призвести до зменшення молекулярної маси. SLS зазвичай обробляється в інертному

середовищі. Порівнявши деталі, що друкуються, у звичайних умовах з деталями, які виготовляються у безкисневому середовищі було помічено суттєве поліпшення механічних властивостей, таких як межа текучості, якщо друк виконується в ізольованих умовах (рис.1). Представлений метод може забезпечити досить ефективне підвищення показника якості друкованої продукції принтерів FDM.



Рисунок 1. 3D-принтер у вакуумному середовищі.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

3D-принтер UP Plus 2 від TierTime Technology Co використовувався для всіх випробовуваних деталей без калібрування. Принтер був встановлений в вакуумну камеру. Яка працювала під азотом з тиском +5 мбар (до атмосферного тиску). Потік газу був спрямований на значній відстані від принтера. Платформу вирівнювали перед кожним новим друком і попередньо нагрівали до температури 100 ° C (ABS) або 50 ° C (Taulman 910) протягом 15 хвилин. Друк проводили з висотою шару 0,15 мм. Температура сопла була встановлена до 263 ° C (273 ° C для першого та 268 ° C для другого шару для кращої адгезії шару на робочі поверхні принтера) для ABS та Taulman 910. Всі об'єкти, надруковані на повітрі та у камері, розташовувалися точно в тому ж місці і з однаковою орієнтацією на друкарській платформі для досягнення ідентичного способу друку.

Матеріали для 3D-друку ABS та нейлоновий полімер (Taulman 910) нитки з діаметром 1,75 мм, були висушені протягом ночі при температурі 85 ° C .

Випробування на розтягування були виконані за допомогою універсальної випробувальної машини, що оснащена тензодатчиком 10 кН зі швидкістю 1 мм хв-1 при 23 ° C / 50% відносної вологості. Для випробувань було обрано три пробних зразки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На (рис. 2) показані апроксимовані криві навантаження-деформації, отримані з випробувань на розтяг друкованих пластин, виконаних з ABS та нейлонового полімеру (Taulman 910) у повітрі та всередині вакуумної камери. На перший погляд збільшення стійкості при розриві очевидно для ABS, в той

час як полімер нейлону демонструє значно підвищену міцність на розрив і збільшений модуль пружності.

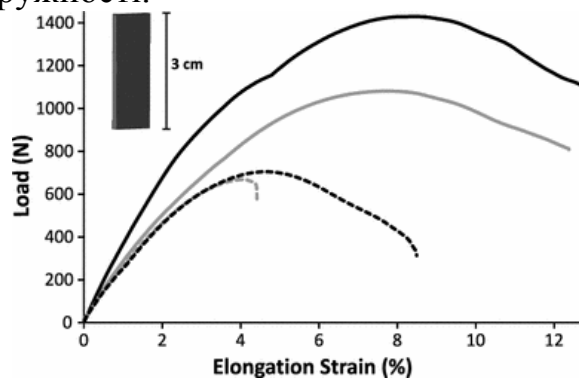


Рисунок 2. Середні навантаження деформаційних криві пластин з ABS (пунктирна сіра лінія) і нейлонового полімеру (пунктирна чорна лінія), надруковані на повітрі (сіра лінія) та під атмосферою азоту (чорна лінія)

Для нейлонового полімеру Taulman 910, який, як правило, більш еластичний (розрив не спостерігався в умовах випробувань), значне підвищення міцності при розтягненні досягається за рахунок виключення води і кисню. При цьому міцність на розтягування, як правило, знаходиться в межах очікуваного матеріалу. Крім того, спостерігався збільшення модуля пружності якщо нейлоновий полімер не був висушений перед друком у повітрі, його міцність на розрив зменшується. Це ясно показує загальний вплив води на механічні властивості нейлону, що є відомим фактом. Для всіх інших деталей на повітрі та під атмосферою азоту застосовують строгу процедуру сушіння нейлонової нитки.

Для SLS добре відомо, що кристалічність поліамідів змінюється зі ступенем плавлення частинок, що сильно впливає на механічні властивості [5]. За допомогою вимірювань диференціальної сквоючої калориметрії (ДСК) визначали вищу кристалічність для нейлонових пластинок, надрукованих на повітрі. Згідно з вимірами ДСК, зразки, надруковані на повітрі, на 15% більше кристалічні (приблизно 20% кристалічності), ніж зразки, надруковані в атмосфері азоту, як показано на (рис.3), що може пояснити покращені механічні властивості деталей, виготовлених у інертній газовій атмосфері [6].

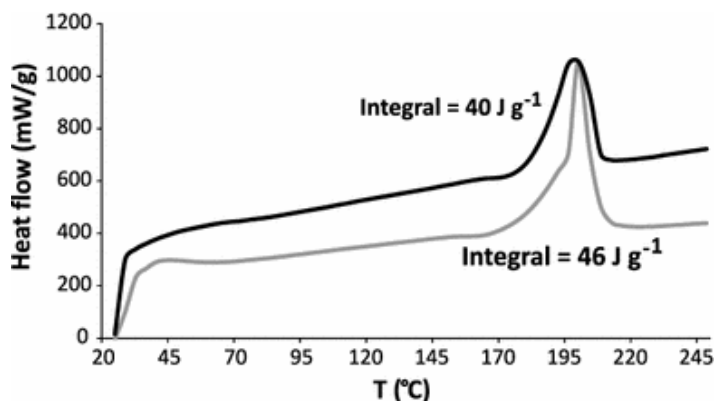


Рисунок 3. Перші криві нагрівання вимірювань ДСК для зразків з нейлонового полімеру, надруковані на повітряному (сірому) та в атмосфері азоту (чорний)

У всіх випадках друковані пластини з ABS та нейлонового полімеру,

надруковані в умовах інертного газу, були чисто білими без найменшого кольору, тоді як всі пластини, надруковані на повітрі, показали незначне жовте або коричневе забарвлення. Це відповідає очікуваному початку деградації полімерів, надрукованих на повітрі. В цілому, на даний момент можна зробити висновок, що придушення процесів окислення призводить до кращої адгезії шарів у випадку АБС (що веде до більш високого подовження при розриві), тоді як надзвичайно суха атмосфера може вплинути на кристалізацію поліаміду і несе відповідальність за поліпшення міцності на розрив.

ВИСНОВКИ

Дані, отримані з випробувань на розтягування пластин, надрукованих на повітрі, порівняно з тими, що надруковані в атмосфері азоту, дозволяють зробити висновок, що поліпшені механічні властивості досягаються для відбитків, що виконуються в атмосфері інертного газу. Це призводить до більшого розтягнення твердого матеріалу ABS і більш високої міцності для еластичного нейлону. Збільшення межі міцності на розрив становить в діапазоні 30%, що може виправдовувати більші зусилля для друку в атмосфері азоту в деяких випадках, коли необхідні поліпшені механічні властивості. Подальша робота (аналіз деталей, виконаних у сухій, але кисневмісній атмосфері) необхідна для визначення впливу води та кисню на процес друку. Отже, 3D друк у середовищі інертного газу - це ефективне інженерне рішення, яке дозволить поліпшити механічні властивості продукції, за рахунок порівняно простого підходу, а саме розміщення принтера у вакуумній камері.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Using 3D printing for getting composite prototypes/Ihor Mastenko, Roman Mastenko, Nataliia Stelmakh// XX Międzynarodowej Studenckiej Sesji Naukowej «Materiały i Technologie XXI wiek».-2018-p.13-14. Режим доступу: http://lightweight.pl/wp-content/uploads/2018/10/Lightweight_special_issue.pdf
2. Blom H, Yeh R, Wojnarowski R, Ling M (2006) Detection of degradation of ABS materials via DSC. J Therm Anal Cal 83:113–115
3. Мастенко І.В., Матвієнко С.М. Пост-обробка деталей після FDM-друку // Збірник статей «Погляд у майбутнє приладобудування». – К.: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 221-224.
4. Tymrak BM, Kreiger M, Pearce JM (2014) Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. Mater Des 58:242–246
5. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov, "Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering," Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560
- 6.Sood AK, Ohdar RK, Mahapatra SS (2010) Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. Mater Des 31:287–295

Науковий керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.